

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)  
Электроснабжение  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Электроснабжение цеха ООО НПО «Эталон» г.Нефтеюганск»

Студент

Э.И. Акбашев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## АННОТАЦИЯ

Тема данной выпускной квалификационной работы – «Электроснабжение группы цехов ООО НПО «Эталон» г.Нефтеюганск»

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы электроснабжения группы цехов с применением последних разработок науки и техники, с обеспечением всех требований, которые предъявляются к системам электроснабжения, а также особенностей протекающих на предприятии технологических процессов.

Объект исследования – система электроснабжения группы цехов.

Предмет исследования – поиск оптимальных подходов в процессе проектирования системы электроснабжения и электрообеспечения группы цехов.

Результатом настоящей выпускной квалификационной работы являются технически-обоснованные предложения по разработке системы электроснабжения группы цехов, а так же комплекс практических рекомендаций по организации монтажа и ввода в эксплуатацию технического оборудования.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика группы цехов.....	6
2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ и высокого напряжения, определение центра электрических нагрузок, картограмма нагрузок, освещение .....	9
2.1 Расчет ожидаемых электрических нагрузок.....	9
2.2 Расчет освещения .....	18
3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности, выбор главной понизительной подстанции .....	23
4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения .....	26
5 Расчет токов короткого замыкания .....	30
6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников .....	38
7 Расчет релейной защиты и автоматики.....	42
8 Расчет заземления зданий и сооружений объекта .....	52
9 Молниезащита зданий и сооружений объекта.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

Среди множества областей народного хозяйства, одной из важнейших является электроэнергетика. В современных условиях невозможно переоценить ее значимость. В связи с развитием производств, внедрением передовых технологий происходит постоянный рост потребляемой энергии машинами и агрегатами. Вместе с этим происходит и ужесточение требований относительно уровня их энергетической эффективности, степени безопасности, экологичности и ремонтпригодности [4].

Бурный рост экономики развивающихся стран в конце 20 столетия привел к резкому повышению потребления электрической энергии.

Первое десятилетие 21 века вскрыло ряд причин увеличения потребления электроэнергии. К ним можно отнести эксплуатацию устаревшего оборудования, несовершенство технологических процессов, большие потери в линиях электропередач, низкий уровень эксплуатационного обслуживания электроустановок, а так же некоторые организационные вопросы.

Тема данной выпускной квалификационной работы – «Электроснабжение группы цехов ООО НПО «Эталон» г.Нефтеюганск».

Цель выпускной квалификационной работы – разработка проекта системы электроснабжения группы цехов с применением последних разработок науки и техники, с обеспечением всех требований, которые предъявляются к системам электроснабжения, а также особенностей протекающих на предприятии технологических процессов.

Исходя из поставленной цели работы, в процессе ее выполнения необходимо решить следующие задачи:

- исследовать общую характеристику группы цехов;
- исследовать состав и характеристику потребителей электроэнергии;

- рассчитать электрические нагрузки системы электроснабжения объекта и произвести расчет и выбор электрооборудования и силовой схемы объекта электроснабжения;
- произвести выбор мощности компенсирующих устройств группы цехов;
- произвести выбор числа и мощности цеховых трансформаторов;
- произвести расчет токов короткого замыкания;
- разработать систему освещения цехов;
- разработать рекомендации по организации защиты от перенапряжения.

Объект исследования – система электроснабжения группы цехов.

Предмет исследования – поиск оптимальных подходов в процессе проектирования системы электроснабжения и электрообеспечения группы цехов.

Результатом настоящей выпускной квалификационной работы будут являться технически-обоснованные предложения по разработке системы электроснабжения группы цехов, а так же комплекс практических рекомендаций по организации монтажа и ввода в эксплуатацию технического оборудования.

## **1 Обоснование актуальности разрабатываемой темы. Краткая характеристика группы цехов**

Требования предъявляемые к качеству электроэнергии ужесточаются. Так при увеличении потерь в линиях электропередач возникает увеличение потребления тока, что в свою очередь ведет к перегрузкам и еще большей последующей потере напряжения.

Вместе с увеличением потребности в электроэнергии высокого качества происходит повышение актуальности оптимального проектирования систем электроснабжения.

В настоящее время в России свыше 80% производимой электрической энергии расходуется на работу приемников, которые питаются напряжением до 1000 В.

Перед разработчиками в процессе проектирования систем электроснабжения, которые отвечают всем современным требованиям, стоит целый комплекс следующих задач:

- задача правильного расчета прогнозируемых нагрузок с учетом развития сети потребителей;
- задача определения количества источников питания, которые должны обеспечивать бесперебойность питания;
- задача повышения качества электроэнергии;
- задача правильного выбора на всех ступенях электроснабжения как общего количества, так и мощностей силовых трансформаторов, а также задача их рационального расположения на территории предприятий;
- задача определения оптимальных величин напряжений питания и конфигураций электрических сетей;
- задача компенсации реактивных мощностей и рационального расположения компенсирующих устройств.

От успешного решения вышеуказанных проблем зависит качество и устойчивость работы проектируемых систем электроснабжения. Именно

поэтому тематика разработки современных систем электроснабжения на данный момент является в высшей степени актуальной.

Настоящая работа выполнена на базе группы цехов предприятия.

В исследуемых цехах выполняются следующие виды работ:

- разборо-сборочные;
- электро-механические.

Разборо-сборочные работы представляют собой работы, связанные с разборкой, ремонтом и сборкой неисправных агрегатов.

Механические работы представляют собой, изготовление крепежных деталей, механическую обработку деталей, проверку.

Имеются три цеха: станочные цеха №1 и №3; сварочный цех. Цеха оснащены механизмами с относительно невысокими мощностями приводов, самым мощным является привод вентиляторов мощностью 48 кВт.

Рассматриваемые цеха работают в 2 смены. Потребители электрической энергии цехов относятся к 2 и 3 категориям надежности ЭСН. Конструкция каркаса здания состоит из блок-секций, длина которых составляет 6 м.

Размеры здания: А x В x Н = 48 x 28 x 9 м.

Потребителями электроэнергии предприятия являются электроприборы, как бытового так и общепромышленного назначения. По режиму работы потребителей электроэнергии предприятия различают:

- электроприемники с длительным режимом работы (S1). К этому классу относятся приемники электрической энергии, достигающие за время работы или включения установившихся значений температуры при которых наступает равновесие между отданным в окружающую среду и выделенным теплом;

- электроприемники с кратковременным режимом работы (S2). К этому классу относятся приемники электрической энергии, не успевающие нагреться до установившейся температуры за время включения или работы и

остывающие за время отключения или паузы до температуры окружающей среды;

Расположение основного электрооборудования приведено на соответствующем чертеже графической части.

Перечень оборудования цехов приведен в приложении 1.

Таблица П.1 – Перечень ЭП цехов

№ на плане	Наименование ЭП	Количество ЭП	Параметры ЭП, Р <sub>ЭП</sub> , кВт	Значение Cosφ	Примечание
1,2	Вентиляторы	2	48	0,8	
3...5	Сварочные агрегаты	3	10	0,6	ПВ=40%
6...8	Токарные автоматы	3	12	0,6	
9...11	Зубофрезерные станки	3	15	0,5	
12...14	Круглошлифовальные станки	3	4	0,5	
15...17	Заточные станки	3	3	0,65	1-фазные
18...19	Сверлильные станки	2	3,2	0,6	1-фазные
20...25	Токарные станки	6	9	0,6	
26, 27	Плоскошлифовальные станки	2	8,5	0,5	
28...30	Строгальные станки	3	12,5	0,6	
31...34	Фрезерные станки	4	9,5	0,65	
35...37	Расточные станки	3	11,5	0,65	
38,39	Краны мостовые	2	25	0,5	ПВ=60%

## **2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок на стороне 0,4 кВ и высокого напряжения, определение центра электрических нагрузок, картограмма нагрузок, освещение**

### **2.1 Расчет ожидаемых электрических нагрузок**

Потребители электрической энергии на предприятии – это бытовые и общепромышленные электрические приборы. Все потребители электрической энергии имеют следующую классификацию:

а) в зависимости от рода потребляемого тока электроприемники могут быть [4]:

- постоянного тока;
- переменного тока промышленной частоты;
- переменного тока пониженной и повышенной частоты;

б) в зависимости от режима работы электроприемники могут быть:

- с длительным режимом работы (S1). Потребители электрической энергии, достигающие за время работы или включения установившегося значения температуры, соответствующей состоянию равновесия между отданным в окружающую среду и выделенным теплом;

- с кратковременным режимом работы (S2). Потребители электрической энергии, не достигающие за время включения или работы установившейся температуры и остывающие за время отключения или паузы до температуры окружающей среды;

- с повторно-кратковременным режимом работы (S3). Потребители электрической энергии, не достигающие за время включения или работы установившейся температуры и не остывающие за время остановки или паузы до температуры окружающей среды [2].

Рассмотрим более подробно потребителей электроэнергии исследуемого объекта.

Вентилятор представляет собой устройство, с помощью которого осуществляется перемещение газа, степень сжатия которого не менее 1,15 (или разность давлений на входе и выходе не превышает 15 кПа).

Сварочный агрегат предназначен для осуществления сварочных работ различных металлоконструкций.

С помощью сварочного трансформатора осуществляется преобразование сетевого напряжения (220 В, 380 В) в пониженное напряжение и преобразования тока до величины в тысячи ампер.

Величина сварочного тока регулируется путем изменения индуктивного сопротивления или вторичного напряжения холостого хода трансформатора. Регулировка осуществляется за счет возможности секционирования количества витков, как в первичной, так и во вторичной обмотке. За счет этого обеспечивается возможность ступенчатого регулирования величины тока.

Все сварочные трансформаторы имеют классификацию:

- в зависимости от числа обслуживаемых рабочих мест;
- в зависимости от количества фаз напряжения в сети (однофазные, трехфазные).
- в зависимости от конструкции (с возможностью регулировки величины вторичного напряжения с помощью магнитного рассеяния, с возможностью регулировки величины вторичного напряжения с помощью переключения числа витков, с возможностью регулировки величины вторичного напряжения с помощью дросселя насыщения).

Токарные станки предназначены для обработки разнообразных поверхностей тел вращения из штучных или прутковых заготовок.

Зубофрезерный станок предназначен для нарезания цилиндрических прямозубых, косозубых, а также червячных колес.

Круглошлифовальные станки предназначены для обдирочной и чистовой обработки деталей.

С помощью заточного станка осуществляются заточка и переточка металлорежущих инструментов. Наиболее широкое распространение получили заточные станки, оснащенные абразивными шлифовальными кругами.

Сверлильные станки — группа металлорежущих станков, которые предназначены для выполнения, как глухих, так и сквозных отверстий в сплошном материале.

Плоскошлифовальный станок – металлорежущий станок для обработки поверхностей металлических деталей абразивом (периферией или торцом шлифовального круга).

Механическая обработка древесины осуществляется с помощью деревообрабатывающих станков при помощи режущего инструмента, на которое оказывается некоторое давление. Из древесных заготовок с помощью деревообрабатывающих станков изготавливаются пиломатериалы, такие полуфабрикаты и заготовки как брус, брёвно, брусок, доска, стружка, шпон. Также возможно изготовление различных деталей и конструкций, которые являются составными частями мебели, вагонов, судов и т.д.), а также готовых изделий в виде одной детали ( паркет, перекрытия зданий, тара, лыжи, детали музыкальных инструментов, канцелярские принадлежности и др).

Кран мостового типа – это кран, оснащенный грузозахватными устройствами, которые подвешиваются грузовой тележке или тали, которые, в свою очередь, могут перемещаться вдоль стальной конструкции (мосту). Мостовые краны могут быть как общего назначения, так и специального (оснащенные грейферами, магнитами, захватами для контейнеров) и металлургические.

Для расчета электрических нагрузок применяется метод, основанный на определении максимальных ( $P_M$ ,  $Q_M$ ,  $S_M$ ) расчетных нагрузок группы электроприемников.

$$P_M = K_M \cdot P_{CM}; \quad Q_M = K'_M \cdot Q_{CM}; \quad S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}; \quad (2.1)$$

где  $P_M$  – максимальная активная нагрузка, кВт;

$Q_M$  – максимальная реактивная нагрузка, квар;

$S_M$  – максимальная полная нагрузка, кВт·А;

$K_M$  – коэффициент максимума активной нагрузки;

$K'_M$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки;

$P_{CM}$  – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт;

$Q_{CM}$  – средняя реактивная мощность за наиболее нагруженную смену,

квар.

$$P_{CM} = K_{И} \cdot P_{Н}; \quad Q_{CM} = P_{CM} \cdot tg\varphi; \quad (2.2)$$

где  $K_{И}$  – коэффициент использования электроприемников, определяется на основании опыта эксплуатации;

$P_{Н}$  – номинальная активная групповая мощность, приведенная к длительному режиму, без учета резервных электроприемников, кВт;

$tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности;

$K_M = F(K_{И} \cdot n_{\text{э}})$  может быть вычислен по формуле:

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{\text{э}}}} \sqrt{\frac{1 - K_{И.ср}}{K_{И.ср}}} \quad (2.3)$$

где  $n_{\text{э}}$  – эффективное число электроприемников;

$K_{И.ср}$  – средний коэффициент использования группы электроприемников;

$$K_{И.ср} = \frac{P_{CM,\Sigma}}{P_{Н,\Sigma}}; \quad (2.4)$$

где  $P_{CM,\Sigma}$ ,  $P_{Н,\Sigma}$  – суммы активных мощностей за смену и номинальных в группе электроприемников, кВт;

$n_{\text{э}} = F(n, m, K_{И.ср}, P_{Н})$  может быть определено по упрощенным вариантам,

где  $n$  – фактическое число электроприемников в группе;

$m$  – показатель силовой сборки в группе,  $m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}}$ ,

где  $P_{н.нб}$ ,  $P_{н.нм}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности электроприемников наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

В соответствии с практикой проектирования принимается  $K'_M=1,1$  при  $n_{\text{э}} \leq 10$ ;  $K'_M=1$ .

Нагрузки распределяются по фазам с наибольшей равномерностью, и определяется величина равномерности ( $H$ ).

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

где  $P_{\text{ф.нб}}$ ,  $P_{\text{ф.нм}}$  – мощность наиболее и наименее загруженной фазы.

При  $H > 15\%$  и включении на фазное напряжение:

$$P_v^{(3)} = 3P_{\text{м.ф}}^{(1)} \quad (2.6)$$

где  $P_v^{(3)}$  – условная 3-фазная мощность приведенная, кВт;

$P_{\text{м.ф}}^{(1)}$  – мощность наиболее загруженной фазы, кВт.

При  $H > 15\%$  и включении на линейное напряжение:

$P_v^{(3)} = \sqrt{3}P_{\text{м.ф}}^{(1)}$  – для одного электроприемника;

$P_v^{(3)} = 3P_{\text{м.ф}}^{(1)}$  – для нескольких электроприемников.

При  $H \leq 15\%$  расчет ведется как для 3-фазных нагрузок (сумма всех 1-фазных нагрузок). Расчет электроприемников ПКР производим после приведения к длительному режиму.

Приблизительно потери мощности в трансформаторе учитываются в соответствии с соотношениями:

$$\Delta P = 0,02S_{\text{нн}}; \quad \Delta Q = 0,1S_{\text{нн}}; \quad (2.7)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}; \quad S_{\text{вн}} = S_{\text{нн}} + \Delta S. \quad (2.8)$$

В случае подключения 1-фазных нагрузок на фазное напряжение, значение нагрузки каждой фазы рассчитывается как сумма всех нагрузок, которые подключены к этой фазе. На рисунке 2.1 изображена схема подключения 1-фазных нагрузок на фазное напряжение. Результаты расчета электрических нагрузок для цехов представлены в таблице 2.1.

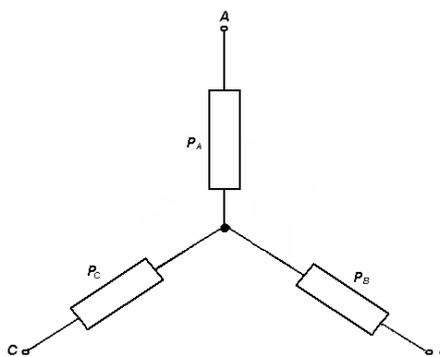


Рисунок 2.1 – Схема включения 1-фазных нагрузок

Таблица 2.1 – Расчет электрических нагрузок

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							m	Сменная нагрузка			$n_{\Sigma}$	$K_M$	$K_M'$	Максимальная нагрузка			
	$P_n$ кВт	$\eta$	$P_n \Sigma$ кВт	$K_N$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{см}$ кВт		$Q_{см}$ квар	$S_{см}$ кВ·А	$P_M$ кВт				$Q_M$ квар	$S_M$ кВ·А	$I_M$ А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<b>РП 1</b>																		
Вентиляторы	48	2	96	0,65	0,8	0,75		62,4	46,8									
Всего по РП 1		2	96	0,65				62,4	46,8	78				62,4	46,8	78	118,7	
<b>РП2</b>																		
Сварочные агрегаты ПВ-40	10/6,3	3	18,9	0,3	0,65	1,17		5,67	6,63									
Всего по РП 2		3	18,9	0,3				5,67	6,63	8,7				5,67	6,63	8,7	13,2	
<b>ШРА 1</b>																		
Токарные автоматы	12	3	36	0,25	0,65	1,17		9	10,53									
Зубофрезерные станки	15	3	45	0,23	0,65	1,17		10,35	12,1									
Круглошлифовальные станки	4	3	12	0,25	0,65	1,17		3	3,51									
Всего по ШРА 1		9	93	0,24			>3	22,35	26,14	34,4	12,4	1,758	1,0	39,29	26,14	47,19	71,7	

Продолжение таблицы 2.1

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							m	Сменная нагрузка			$n_{\text{э}}$	$K_M$	$K_M'$	Максимальная нагрузка			
	$P_H$ кВт	$\eta$	$P_H \Sigma$ кВт	$K_N$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_{\text{см}}$ кВт		$Q_{\text{см}}$ квар	$S_{\text{см}}$ кВ·А	$P_M$ кВт				$Q_M$ квар	$S_M$ кВ·А	$I_M$ А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<b>ШРА 2</b>																		
Заточные станки 1ф	3	3	18,6	0,17	0,45	1,98		3,16	6,3									
Сверлильные станки 1ф	3,2	2																
Токарные станки	9	6	54	0,22	0,65	1,17		11,88	13,9									
Плоскошлифовальные станки	8,5	2	17	0,25	0,65	1,17		4,25	4,97									
Кран мостовой ПВ-60%	25/19,4	1	19,4	0,35	0,45	1,98		6,79	13,44									
Всего по ШРА 2		14	109	0,239			>3	26,1	38,61	46,6	11,2	1,8	1,0	47	38,61	60,83	92,5	
<b>ШРА 3</b>																		
Строгальные станки	12,5	3	37,5	0,25	0,65	1,17		3,38	10,97									
Фрезерные станки	9,5	4	38	0,22	0,65	1,17		8,36	9,78									
Расточные станки	11,5	3	34,5	0,22	0,25	1,17		7,59	8,88									
Кран мостовой ПВ-60%	25/19,4	1	19,4	0,35	0,45	1,98		6,79	13,4									
Всего по ШРА 3		11	129,4	0,201			<3	26,12	43,03	50,3	11	1,9	1	49,63	43,03	65,8	99,9	

Продолжение таблицы 2.1

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							m	Сменная нагрузка			$n_{\Sigma}$	$K_M$	$K_M'$	Максимальная нагрузка			
	$P_n$ кВт	$\eta$	$P_n \Sigma$ кВт	$K_N$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$P_{см}$ кВт		$Q_{см}$ квар	$S_{см}$ кВ·А	$P_M$ кВт				$Q_M$ квар	$S_M$ кВ·А	$I_M$ А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Освещение																		
$P_{лл}$	4,3		4,3	0,85	0,95	0,33		3,66	1,2									
$P_{лн}$	13,3		13,3	0,85	1	0		11,3	0									
Итого по ОУ			17,6	0,85				14,96	1,2	15				14,96	1,2	15	22,7	
Итого по цехам					0,805	0,7355								220,8	228,6	319,35	491,3	

## 2.2 Расчет освещения

Произведем расчет системы освещения исследуемых цехов.

В случае бокового освещения К.Е.О. рассчитывается по формуле:

$$E_{БР} = (E_B \cdot q + E_{зд} \cdot R) \cdot r \cdot \tau_0 / K_3, \quad (2.9)$$

где  $E_B$  и  $E_{зд}$  – значения геометрических коэффициентов естественной освещенности расчетных точек в случае бокового освещения, которые учитывают соответственно свет небосвода и свет, который отражается от противостоящих зданий;

$q$  – значение коэффициента, который учитывает неравномерность яркости облачного неба, 0,52;

$R$  – значение коэффициента, который зависит от относительной яркости противостоящих зданий, 0,18;

$\tau_0$  – значение общего коэффициента светопропускания;

$r$  – значение коэффициента, который учитывает увеличение К.Е.О. вследствие отраженного света от потолка и стен помещения, 5,7;

$K_3$  – коэффициент запаса, 1,2.

В случае бокового освещения значение геометрического КЕО в расчетной точке, с учетом прямого света неба, рассчитывается по формуле:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (n_1 \cdot n_2), \quad (2.10)$$

где  $n_1$  – число лучей, которое проходит через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения, определяемое согласно табличным данным;

$n_2$  – аналогично  $n_1$ , но на плане помещения ( $n_1, n_2 = 13$ ).

Тогда:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (13 \cdot 13) = 1,69.$$

Величина геометрического К.Е.О., который соответствует расчетной точке в случае бокового освещения, с учетом отраженного от противоположных зданий света, рассчитывается по формуле:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (n_3 \cdot n_4), \quad (2.11)$$

где  $n_3, n_4$  – лучи, которые приходят в расчетную точку от противоположных зданий через световые проемы.

Количество лучей - 4.

Тогда:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (4 \cdot 4) = 0,16.$$

Величина коэффициента светопропускания рассчитывается по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5. \quad (2.12)$$

где  $\tau_1$  - значение коэффициента светопропускающего материала (0,8);

$\tau_2$  - значение коэффициента, который учитывает потери света в переплетах светового проема (0,7);

$\tau_3$  - значение коэффициента, учитывающего потери света в несущих конструкциях (1);

$\tau_4$  - значение коэффициента, который учитывает потери света в солнцезащитных устройствах (1);

$\tau_5$  - значение коэффициента, который учитывает потери света в защитных стеклах, установленных под лампой (0,9).

Произведем расчет  $E_{БР}$ :

$$E_{БР} = (1,69 \cdot 0,52 + 0,16 \cdot 0,18) \cdot 5,7 \cdot 0,504 / 1,2 = 2,15\%.$$

При расчете искусственного освещения необходимо определить число ламп для цехов, выбрать светильники, разместить их по цехам.

Расчет искусственного освещения производится с помощью метода коэффициента использования светового потока. Для исследуемых помещений будут применяться люминесцентные лампы, характеризующиеся световым потоком 24000 лм (люминесцентная лампа марки OSRAM T5).

Расчет произведем для всех помещений исследуемой группы цехов, а именно цеха 1, цеха 2, сварочного отделения, вентиляционной, бытовок 1 и 2, административного помещения и склада инструментов.

Определим необходимое количество ламп для цеха 1 по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_3}{\eta \cdot \Gamma \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (2.12)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  – световой поток лампы (применяются люминесцентные лампы), лм;  
 $E$  - нормируемая минимальная освещённость, лк;  $S$  - площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $k_3$  – коэффициент запаса;  $N$  - количество светильников в помещении, шт.;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока, доли единицы.

Получим для цеха 1:

$$N = \frac{400 \cdot 448 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 19,6.$$

Принимаю 20 ламп.

Определяем расчетные активные и реактивные нагрузки:

$$P_{\text{осв}} = N \cdot n \cdot P_{\text{л}}, \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi. \quad (2.14)$$

Получим:

$$P_{\text{осв}} = 20 \cdot 1 \cdot 14 = 280 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 280 \cdot 0,62 = 173,6 \text{ вар}.$$

Для цеха 2 получим:

$$N = \frac{400 \cdot 562 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 24,5.$$

Понимаю 25 ламп.

$$P_{\text{осв}} = 25 \cdot 1 \cdot 14 = 350 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 350 \cdot 0,62 = 217 \text{ вар.}$$

Для сварочного отделения имеем:

$$N = \frac{400 \cdot 100 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 4,3.$$

Принимаю 5 лампы.

$$P_{\text{осв}} = 5 \cdot 1 \cdot 14 = 70 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 70 \cdot 0,62 = 43,4 \text{ вар.}$$

Для вентиляционной имеем:

$$N = \frac{400 \cdot 38 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 1,66.$$

Принимаю 2 лампы.

$$P_{\text{осв}} = 2 \cdot 1 \cdot 14 = 28 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 28 \cdot 0,62 = 17,3 \text{ вар.}$$

Площади бытовок 1 и 2 равны площади вентиляционной, поэтому принимаем число ламп, аналогичное вентиляционной – по две лампы.

Для административного помещения:

$$N = \frac{400 \cdot 86 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 3,77.$$

Принимаю 4 лампы.

$$P_{\text{осв}} = 4 \cdot 1 \cdot 14 = 56 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 56 \cdot 0,62 = 34,7 \text{ вар.}$$

Для склада инструментов имеем:

$$N = \frac{400 \cdot 34 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 1,49.$$

Принимаю 2 лампы.

$$P_{\text{осв}} = 2 \cdot 1 \cdot 14 = 28 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 28 \cdot 0,62 = 17,3 \text{ вар.}$$

Рассчитанные данные заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета системы освещения

Наименование помещения	Площадь, м <sup>2</sup>	Высота подвеса, м	Норма освещенности, лк	Тип светильников	Количество, шт	Мощность одного свет-ка, Вт	Расчетная активная нагрузка, Вт	Расчетная реактивная нагрузка, вар
Цех 1	448	3,7	300	OSRAM T5	20	14	280	173,6
Цех 2	562	3,7	300	OSRAM T5	25	14	350	217
Сварочное отделение	100	3,7	400	OSRAM T5	5	14	70	43,4
Вентиляционная	38	3,7	300	OSRAM T5	2	14	28	17,3
Бытовка 1	38	3,7	300	OSRAM T5	2	14	28	17,3
Бытовка 2	38	3,7	300	OSRAM T5	2	14	28	17,3
Администр. помещение	86	3,7	400	OSRAM T5	4	14	56	34,7
Склад инструмент.	34	3,7	300	OSRAM T5	2	14	28	17,3
Итого по цеху	1344						868	537,9

План расположения светильников системы освещения приведен в графической части работы.

### 3 Выбор трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности, выбор главной понизительной подстанции

Коэффициент мощности определяется с помощью следующего выражения:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}. \quad (3.1)$$

Величина коэффициента мощности говорит об экономической эффективности использования электроэнергии.

При выборе компенсирующих устройств требуется знать:

- величину расчетной реактивной мощности КУ;
- тип компенсирующих устройств;
- уровни напряжения КУ.

Расчетную мощность КУ можно определить из соотношения:

$$Q_{кр} = \alpha \cdot P_m (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k), \quad (3.2)$$

где  $Q_{кр}$  - расчетная мощность КУ, квар;

$\alpha = 0,9$  – коэффициент учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом;

$\operatorname{tg}\varphi, \operatorname{tg}\varphi_k$  – коэффициент реактивной мощности до и после компенсации.

Исходя из опыта эксплуатации, компенсация реактивной мощности по производится до получения значений в диапазоне 0,92...0,95.

Попытаемся поднять значение коэффициента мощности до 0,95,  $\operatorname{tg}\varphi$  при этом равен 0,3287.

Определяем расчетную мощность КУ:

$$Q_{кр} = 0,9 \cdot 220,8 \cdot (0,7355 - 0,3287) = 80,83 \text{квар.}$$

Исходя из этой расчетной мощности компенсирующего устройства, принимаем стандартную батарею косинусных конденсаторов КСК 1-80 со ступенчатым регулированием емкости.

Определяем фактические значения  $\operatorname{tg}\varphi_\phi$  и  $\cos\varphi_\phi$ :

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = 0,7355 - \frac{80}{0,9 \cdot 220,8} = 0,3325.$$

$$\cos\varphi_\phi = 0,949.$$

Составляем сводную ведомость нагрузок (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВ·А
Всего на НН без КУ	0,805	0,7355	220,8	228,6	319,35
КУ				1x80	
Всего на НН с КУ	0,949	0,3325	220,8	88,6	239
Потери			4,7	23,9	24,1
Всего на ВН с КУ			227,5	112,8	254

Определяем расчетную мощность трансформатора с учетом потерь, рассчитанных в предыдущем пункте:

$$S_p = \frac{S}{0,7} = \frac{254}{0,7} = 363 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{\text{НН}} = 0,02 \cdot 235,7 = 4,7 \text{ кВт}.$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_{\text{НН}} = 0,1 \cdot 235,7 = 23,8 \text{ квар}.$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{4,7^2 + 23,6^2} = 24,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Выбираем трансформатор типа ТМ400/10/0.4.

Данный трансформатор имеет характеристики, приведенные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики трансформатора ТМ400/10/0.4

Номинальная мощность, кВА	4000
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	10
Номинальное напряжение на стороне НН, кВ	0,4
Схема соединения	У/Ун-0 (звезда-звезда), Д/Ун-11 (треугольник-звезда), У/Зн-11 (звезда-зигзаг)
Климатическое исполнение и категория размещения	У1, УХЛ1
Допустимая температура эксплуатации	от -45 до +40 °С (У1), от -60 до +40 °С (УХЛ1)
Материал обмоток	Алюминий (алюминиевый), медь (медный)
Нормативные документы	ГОСТ 11677, ГОСТ 30830, ГОСТ Р 52719-2007, МЭК – 76
Гарантия	3 года

Блок-схема трансформатора приведена на соответствующем чертеже графической части.

На крышке располагаются НН и ВН вводы. Баки ТМ трансформаторов имеют прямоугольную форму. Радиаторы используются с целью увеличения охлаждающей поверхности.

Крышка бака оснащена краном (пробкой). Которая предназначена для залива масла. В нижней части бака установлена пробка, предназначенная для слива масла, а также кран (пробка) через которую берутся пробы и болт заземления.

#### **4 Выбор и обоснование схемы электроснабжения**

Электроснабжение исследуемого предприятия осуществляется в соответствии с принципом реализации схем внешнего и внутреннего электроснабжения. Выбор данных схем основан на соблюдении мер безопасности, требуемой степени надежности и экономичности. Выбор категории надежности системы электроснабжения определяется категорией потребителей. Если на предприятии из всего комплекса электроприемников имеется хотя бы один, относящийся к первой категории, то система должна иметь минимум два источника электрического питания.

Согласно потребляемой мощности все объекты электроэнергии подразделяются на:

- большие (75-100 МВт и более);
- средние (от 5-7 до 75 МВт);
- малые (до 5 МВт).

В случае предприятий малой и средней мощности, как правило, используются схемы электроснабжения, в которых имеется один приемный пункт электроэнергии (ГПП, ГРП, РП). При наличии потребителей первой категории необходимо оборудование секционированных шин приемного пункта. При этом каждая шина запитывается от отдельной линии.

Схемы с короткозамыкателями и отделителями в настоящее время являются самыми экономичными.

Число секций определяется в соответствии с количеством подключений, а также исходя из существующей схемы внутриводского распределения электрической энергии. Число секций, как правило, составляет в пределах двух. При этом каждая секция работает обособленно и имеет отдельную линию питания. Секционный аппарат в нормальных условиях эксплуатации находится в выключенном состоянии.

За счет применения секционного выключателя достигается возможность обеспечения автоматического включения резерва (АВР). При

этом появляется возможность применения данной схемы к потребителям любой категории надежности.

Как внутреннее, так и внешнее электроснабжение потребителей электроэнергии осуществляется с помощью радиальных, магистральных и смешанных схем питания.

Как правило, при использовании магистральных схем имеется возможность подключения 5-6 ПС, суммарная мощность которых составляет не менее 5000-6000 кВА. Однако степень надежности подобных схем является достаточно низкой. Эти схемы оборудованы меньшим количеством аппаратов отключения, но вместе с этим более рационально компонуют потребителей.

При проектировании и эксплуатации систем промышленного электроснабжения достаточно редкими являются схемы, которые построены лишь с применением радиального или магистрального принципа.

В случае рассматриваемого объекта принято решение о применении следующих решений.

При выборе схемы ГПП приняты во внимание установленная мощность потребителей электроэнергии, категория надежности, характер электрических нагрузок, размещение нагрузок согласно генеральному плану предприятия, а также согласно производственных, архитектурно-строительных и эксплуатационных требований.

Для рассматриваемого объекта принята схема ГПП, в которой отсутствуют сборные шины на высшем напряжении. Данная схема является наиболее простой и экономичной.

Способ размещения трансформатора – открытый. Остальное оборудование размещается в закрытых помещениях.

Для устройства РУ 10 кВ применяются комплексные распределительные устройства КРУ2-0-20У3.

Выбор места расположения цеховых трансформаторов осуществляется на основании величины, характеристики и размещения нагрузок, напряжение

которых не превышает 1000 В. Также учитывается возможность расположения в конечном месте трансформаторных пунктов.

Трансформаторные подстанции размещаются как можно ближе к центру нагрузок. Для этого, с учетом технологического процесса, типов применяемого оборудования, плотности нагрузки устанавливаются пристроенные подстанции, питающие производство.

В систему электроснабжения исследуемого объекта так же предполагается внедрить средства молниезащиты, так как таковые отсутствуют на данный момент. Это позволит повысить безопасность СЭС.

Рассмотрим предлагаемую схему электроснабжения цехов.

Цеховая подстанция цехов запитана по кабельной линии протяженностью 0,9 км напряжением 6 кВ. Подключение силового оборудования осуществляется напряжением 380/220 В по четырех проводной системе ЭСН. В помещении цехов установлен РУ ШНН на 0,4/0,23 кВ и огорожен сеткой, от него проложен провод ПРТО в трубе, длина отвода 46 метров через который запитан РП1, от которого получают напряжение вентилятор 1 и 2 с  $P_{эп}=48$  кВт от ШНН 0,4/0,23 кВ проложен в трубе провод ПРТО 3х4 длиной 25 м от РП2 запитаны 3 САГ.

Также к РУ ШНН запитаны 3 шинопровода ШРА 1, ШРА 2, ШРА 3.

ШРА 1 запитывается от РУ ШНН проводом ПРТО 3х35 длиной 6 метров. К ШРА 1 запитаны: токарные автоматы  $P_{эп} = 12$  кВт; зубофрезерные станки  $P_{эп} = 15$  кВт; круглошлифовальные станки  $P_{эп} = 4$  кВт.

ШРА 2 запитывается от РУ ШНН проводом ПРТО 3х10 длиной 30 метров. К ШРА 2 запитаны: заточные станки  $P_{эп} = 3$  кВт; сверлильные станки  $P_{эп} = 3,2$  кВт; токарные станки  $P_{эп} = 9$  кВт; плоскошлифовальные станки  $P_{эп} = 8,5$  кВт; кран мостовой  $P_{эп} = 25$  кВт.

ШРА 3 запитывается от РУ ШНН проводом ПРТО 3х35 длиной 16 метров. К ШРА 3 запитаны: кран мостовой  $P_{эп} = 25$  кВт; строгальные станки

$P_{\text{эл}} = 12,5$  кВт; фрезерные станки  $P_{\text{эл}} = 9,5$  кВт; расточные станки  $P_{\text{эл}} = 11,5$  кВт.

Потребители ЭМЦ получают питание от собственной трансформаторной подстанции расположенной от подстанции глубокого ввода на расстоянии 0,9 км. ГПП подключена к ЭНС, расположенной на расстоянии 14 км. Подводимое напряжение 35 кВ. Потребители электроэнергии на участке относятся ко 2 и 3 категориям надежности ЭСН. Количество рабочих смен на участке – 2.

Схема электроснабжения цехов приведена на соответствующем чертеже графической части.

Токоприемники цехов имеют сравнительно небольшую энергоемкость и, поэтому, для запитки цеховой ТП используется уровень напряжения 6 кВ. В помещении ТП установлен трансформатор ТСЗ 6/0.4-0.23 и используется четырехпроводная схема для запитки силовых осветительных установок цехов. В щитовой размещается РУ-0.4-0.23 кВ, от которого идут кабельные отводы к РП и к шинопроводам, проложенным в первом и втором станочном цехе, вентиляционной и сварочном отделении. Кроме этого в щитовой размещены резервный шкаф и групповой осветительный шкаф.

Система электроснабжения цехов организована, учитывая климатические особенности региона расположения объекта. На объекте предусмотрено рабочее и аварийное (эвакуационное и безопасности) освещение.

Управление освещением осуществляется выключателями по месту и автоматическими выключателями со щитов освещения.

## 5 Расчет токов короткого замыкания

Для определения токов короткого замыкания используются следующие соотношения:

а) 3-фазного тока короткого замыкания, кА:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U^2}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к}}}, \quad (5.1)$$

где  $U^2$  - линейное напряжение в точке короткого замыкания, кВ;

$Z_{\text{к}}$ - полное сопротивление до точки короткого замыкания, Ом;

б) 2-фазного тока короткого замыкания, кА:

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)} = 0,87 \cdot I_{\text{к}}^{(3)}. \quad (5.2)$$

в) 1-фазного тока короткого замыкания, кА:

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}}, \quad (5.3)$$

где:  $U_{\text{кф}}$  - фазное напряжение в точке короткого замыкания, кВ;  $Z_{\text{п}}$ - полное сопротивление петли "фаза-ноль" до точки короткого замыкания, Ом;

$Z_{\text{т}}^{(1)}$ - полное сопротивление трансформатора однофазному короткому замыканию, Ом;

г) ударного тока короткого замыкания, кА:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (5.4)$$

где:  $K_{\text{уд}}$  - ударный коэффициент:

$$K_{\text{уд}} = F \cdot \left( \frac{R_{\text{к}}}{X_{\text{к}}} \right). \quad (5.5)$$

д) действующего значения ударного тока короткого замыкания, кА:

$$I_{\text{уд}} = q \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (5.6)$$

где  $q$  – коэффициент действующего значения ударного тока,

$$q = \sqrt{1 + 2(K_{\text{у}} - 1)^2}. \quad (5.7)$$

Сопротивление схем замещения определяются либо по таблицам, либо расчетным путем.

Для силовых трансформаторов:

$$R_T = \Delta P_K \cdot \left( \frac{U_{HH}}{S_T} \right)^2 \cdot 10^6; \quad (5.8)$$

$$Z_T = u_K \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_T} \cdot 10^4; \quad (5.9)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 + R_T^2}, \quad (5.10)$$

где:  $\Delta P_K$  - потери мощности короткого замыкания, кВт;  $\Delta P_K$ - напряжение короткого замыкания, %;  $U_{HH}$  - линейное напряжение обмотки НН, кВ;  $S_T$ - полная мощность трансформатора, кВ·А.

Для линий ЭСН кабельных, воздушных и шинопроводов из соотношений:

$$R_L = r_0 \cdot L_L, \quad X_L = x_0 \cdot L_L, \quad (5.11)$$

где  $r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления, мОм/м;

$L_L$  – протяженность линии, м.

При отсутствии данных  $r_0$  можно определить расчетным путем:

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S}, \quad (5.12)$$

где  $S$  – сечение проводника мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  - удельная проводимость материала, м/(Ом·мм<sup>2</sup>).

Принимается  $\gamma = 29 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$  - для алюминия,

$\gamma = 50 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$  - для меди,

$\gamma = 10 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$  - для стали.

При отсутствии данных  $x_0$  можно принять равным:

$x_{0_{вл}} = 0,4 \text{ мОм}/\text{м}$  - для воздушных линий,

$x_{0_{кл}} = 0,06 \text{ мОм}/\text{м}$  - для кабельных линий,

$x_{0_{пр}} = 0,09 \text{ мОм}/\text{м}$  - для проводов,

$x_{0_{ш}} = 0,15 \text{ мОм}/\text{м}$  - для шинопроводов.

При расчете 1-фазных токов короткого замыкания значение удельных индуктивных сопротивлений петли "фаза-ноль" принимается равным:

$x_{0_{кл}} = 0,15 \text{ мОм/м}$  - для кабельных линий до 1 кВ и проводов в трубах,

$x_{0_{вл}} = 0,6 \text{ мОм/м}$  - для воздушных линий до 1кВ,

$x_{0_{пл}} = 0,4 \text{ мОм/м}$  - для изолированных открыто проложенных проводов,

$x_{0_{ш}} = 0,2 \text{ мОм/м}$  - для шинопроводов.

Для неподвижных контактных соединений значения активных переходных сопротивлений определяют по таблицам.

Сопротивления элементов на ВН приводятся к НН по формулам:

$$R_{НН} = R_{ВН} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2, \quad X_{НН} = X_{ВН} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}}\right)^2, \quad (5.13)$$

где  $R_{НН}$  и  $X_{НН}$  – сопротивления, приведенные к НН, мОм;

$R_{ВН}$  и  $X_{ВН}$  – сопротивления, на ВН, мОм;

$U_{ВН}$  и  $U_{НН}$  – напряжения высокое и низкое, кВ.

Получаем характерную линию ЭСН (рисунок 4).

Рассчитываем:

$$R_c = \left[ r_o \cdot e \cdot \frac{6.3^2}{37^2} + 1.24 \cdot 0.9 \right] \cdot \frac{0.4^2}{6.3^2};$$

$$R_c = \left[ 0,92 \cdot 14 \cdot \frac{6.3^2}{37^2} + 1.24 \cdot 0.9 \right] \cdot \frac{0.4^2}{6.3^2} = 0,006 \text{ ом} = 6 \text{ мОм};$$

$$X_c = X_{рез.к1} \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2};$$

$$X_c = 1,185 \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} = 0,00749 \text{ ом} = 7,49 \text{ мОм};$$

$$R_T = 9,4 \text{ мОм};$$

$$X_T = 27,2 \text{ мОм};$$

$$R_{к.1 \text{ ступ}} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_a = 0,15 \text{ мОм};$$

$$X_a = 0,17 \text{ мОм};$$



Рисунок 5.1 – А) схема расчетная; Б) схема замещения; В) схема замещения упрощенная

$$R_{к.2 \text{ ступ.}} = 20 \text{ мОм};$$

$$R_a = 0,7 \text{ мОм};$$

$$X_a = 0,7 \text{ мОм};$$

$$R_{к.пер.3x50} = 0,043 \cdot 46 = 1,978 \text{ мОм};$$

$$R_{п.3x50 \text{ } \emptyset 50} = 0,37 \cdot 46 = 17,02 \text{ мОм};$$

$$X_{п.3x50 \text{ } \emptyset 50} = 0,085 \cdot 46 = 3,91 \text{ мОм};$$

$$R_a = 0,7 \text{ мОм};$$

$$X_a = 0,7 \text{ мОм};$$

$$R_{к.3 \text{ ступ.}} = 25 \text{ мОм};$$

$$R_{к.пер.3x35} = 0,056 \cdot 5 = 0,28 \text{ мОм};$$

$$R_a = 1,3 \text{ мОм};$$

$$R_{к.4 \text{ степ.}} = 30 \text{ мОм};$$

$$R_{п.3x35 \text{ } \emptyset 50} = 0,53 \cdot 5 = 2,65 \text{ мОм};$$

$$X_{п.пер. 3x35 \text{ } \emptyset 50} = 0,088 \cdot 5 = 0,44 \text{ мОм};$$

Упрощается схема замещения, вычисляются эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и наносятся на схему.

$$R_{\text{э}1} = R_c + R_T + R_{тк.1 \text{ ступ.}} = 6 + 9,4 + 15 = 30,4 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э}1} = X_c + X_T = 7,49 + 27,2 = 34,69 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э}2} = R_a + R_{к.пер.185} + R_{т.т.} + R_{каб. 3x185} + R_{ш} + R_{к.2 \text{ ступ.}}$$

$$= 0,15 + 0,84 + 0,11 + 0,4 + 0,16 + 20 = 21,66 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э}2} = X_a + X_{т.т.} + X_{каб.3x185} + X_{ш} = 0,17 + 0,17 + 0,2384 + 0,16$$

$$= 0,738 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э}3} = R_a + R_{к.пер.3x50} + R_{п.3x50} = 0,7 + 1,978 + 17,02 = 19,698 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э}3} = X_a + X_{п.3x50} = 0,7 + 3,91 = 4,61 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned}
R_{\text{э4}} &= R_{\text{а}} + R_{\text{к.3 ступ.}} + R_{\text{к.пер.3x35}} + R_{\text{а}} + R_{\text{к.4 ступ.}} + R_{\text{п.3x35}} \\
&= 0,7 + 25 + 0,28 + 1,3 + 30 + 2,65 = 59,93 \text{ мОм}; \\
X_{\text{э4}} &= X_{\text{а}} + X_{\text{а}} + X_{\text{п.3x35}} = 0,7 + 1,2 + 0,44 = 2,34 \text{ мОм}.
\end{aligned}$$

Вычисляем сопротивления до каждой точки КЗ и заносим в сводную ведомость.

$$\begin{aligned}
R_{\text{к1}} &= R_{\text{э1}} = 30,4 \text{ мОм}; \quad X_{\text{к1}} = X_{\text{э1}} = 34,69 \text{ мОм}; \\
Z_{\text{к1}} &= \sqrt{R_{\text{к1}}^2 \cdot X_{\text{к1}}^2} = \sqrt{30,4^2 \cdot 34,69^2} = 46,1 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к2}} &= R_{\text{к1}} + R_{\text{э2}} = 30,4 + 21,66 = 52,06 \text{ мОм}; \\
X_{\text{к2}} &= X_{\text{к1}} + X_{\text{э2}} = 34,69 + 0,5 = 35,19 \text{ мОм}; \\
Z_{\text{к2}} &= \sqrt{R_{\text{к2}}^2 \cdot X_{\text{к2}}^2} = \sqrt{52,06^2 \cdot 35,19^2} = 62,8 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к3}} &= R_{\text{к2}} + R_{\text{э3}} = 52,06 + 19,698 = 71,8 \text{ мОм}; \\
X_{\text{к3}} &= X_{\text{к2}} + X_{\text{э3}} = 35,19 + 4,61 = 39,8 \text{ мОм}; \\
Z_{\text{к3}} &= \sqrt{R_{\text{к3}}^2 \cdot X_{\text{к3}}^2} = \sqrt{71,8^2 \cdot 39,8^2} = 82,1 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к4}} &= R_{\text{к3}} + R_{\text{э4}} = 71,8 + 59,93 = 131,7 \text{ мОм}; \\
X_{\text{к4}} &= X_{\text{к3}} + X_{\text{э4}} = 39,8 + 2,34 = 42,1. \\
Z_{\text{к4}} &= \sqrt{R_{\text{к4}}^2 \cdot X_{\text{к4}}^2} = \sqrt{131,7^2 \cdot 42,1^2} = 138,3 \text{ мОм};
\end{aligned}$$

$$\frac{R_{\text{к1}}}{X_{\text{к1}}} = \frac{30,4}{34,69} = 0,876;$$

$$\frac{R_{\text{к3}}}{X_{\text{к3}}} = \frac{71,8}{39,8} = 1,8;$$

$$\frac{R_{\text{к2}}}{X_{\text{к2}}} = \frac{52,06}{35,19} = 1,749;$$

$$\frac{R_{\text{к4}}}{X_{\text{к4}}} = \frac{131,7}{42,1} = 3,13.$$

Определяем коэффициенты  $K_y$  и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(0,876) = 1,04; K_{y3} = F\left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}}\right) = F(1,8) = 1,0;$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}}\right) = F(1,479) = 1,0; K_{y4} = F\left(\frac{R_{K4}}{X_{K4}}\right) = F(3,13) = 1,0;$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,04 - 1)^2} = 1,32;$$

$$q_2 = \sqrt{1 + 2(K_{y2} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1;$$

$$q_2 = q_3 = q_4 = 1.$$

Определяем 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и заносим в «Ведомость».

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{K1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{1,73 \cdot 46,1 \cdot 10^{-3}} = 5015 \text{ A} = 5,015 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{K2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{380}{1,73 \cdot 62,8 \cdot 10^{-3}} = 3498 \text{ A} = 3,498 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{1,73 \cdot 82,1 \cdot 10^{-3}} = 2675 \text{ A} = 2,675 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{K4}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{380}{1,73 \cdot 138,3 \cdot 10^{-3}} = 1588 \text{ A} = 1,588 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = q_1 I_{K1}^{(3)} = 1,32 \cdot 5,015 = 6,62 \text{ кА};$$

$$I_{yK2} = q_2 I_{K2}^{(3)} = 1 \cdot 3,498 = 3,498 \text{ кА};$$

$$I_{yK3} = q_3 I_{K3}^{(3)} = 1 \cdot 2,675 = 2,675 \text{ кА};$$

$$I_{yK4} = q_4 I_{K4}^{(3)} = 1 \cdot 1,588 = 1,588 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{K1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,04 \cdot 5,015 = 7,35 \text{ кА};$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 1,41 \cdot 1 \cdot 3,498 = 4,9 \text{ кА};$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 1,41 \cdot 1 \cdot 2,675 = 3,77 \text{ кА};$$

$$i_{yK4} = \sqrt{2} \cdot K_{y4} \cdot I_{K4}^{(3)} = 1,41 \cdot 1 \cdot 1,588 = 2,24 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,87 \cdot 5,015 = 4,36 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,498 = 3,04 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K3}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,675 = 2,33 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K4}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,588 = 1,38 \text{ кА}.$$

Сводная ведомость токов КЗ приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$R_K$ МОм	$X_K$ МОм	$Z_K$ МОм	$R_K/X_K$	$K_y$	$q$	$I_K^{(3)}$ кА	$i_{ук}$ кА	$I_{ук}$ кА	$I_K^{(2)}$ кА	$Z_{\Pi}$ МОм	$I_K^{(1)}$ кА
К1	30,4	34,69	46,1	0,876	1,04	1,32	5,015	7,35	6,62	4,36	119	1,93
К2	52,06	35,19	62,8	1,479	1,0	1	3,498	4,9	3,498	3,04	174,5	1,26
К3	71,8	39,8	82,1	1,8	1,0	1	2,675	3,77	2,675	2,33	412,3	0,533
К4	131,7	42,1	138,3	3,13	1,0	1	1,588	2,24	1,588	1,38	438,4	0,501

## 6 Расчет и выбор электрооборудования и проводников

От ГПП питаются потребители всех категорий надежности, и питание имеется лишь со стороны высокого напряжения, поэтому требуется, установка не менее двух трансформаторов.

Для двухтрансформаторной подстанции должно выполняться условие:

$$S_{\text{тр}} \geq (0,65 \div 0,7) S_p; \quad (6.1)$$

$$S_{\text{тр}} \geq 0,7 \cdot 21347 = 14942,9 \text{ кВА}$$

Для проектируемой двухтрансформаторной подстанции выбираем трансформаторы двух типов ТДН-16000/110 и ТРДН-25000/110.

Проверим возможность работы одного трансформатора в аварийном режиме. Коэффициенты перегрузки определим соответственно по формуле:

$$K_{3, \text{ав } 1} = 21347 / 16000 = 1,33 < 1,4;$$

$$K_{3, \text{ав } 2} = 21347 / 25000 = 0,85 < 1,4.$$

Условие выполняется, следовательно, работа одного трансформатора с  $S_{\text{ном}} = 16000 \text{ кВА}$  и  $S_{\text{ном}} = 25000 \text{ кВА}$  в аварийном режиме возможна.

Технические данные трансформаторов представлена в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ , кВА	Кол- во	$U_{\text{ном}}$ , кВ		$\Delta P_x$ , кВт	$\Delta P_k$ , кВт	$U_k$ , %	$I_x$ , %
			ВН	НН				
ТДН-16000/110	16000	2	115	11	19	85	10,5	0,7
ТРДН-25000/110	25000	2	115	10,5	27	120	10,5	0,7

Оценку эффективности предложенных вариантов произведем по критерию минимума приведенных затрат по формуле:

$$Z = E_n \cdot K_m + I, \quad (6.2)$$

где  $E_n$  – норма дисконта, равная 0,16;

$\kappa_m$  – капитальные вложения;

$I$  – ежегодные эксплуатационные издержки, которые определяются по формуле:

$$I = I_a + I_{\Delta W}, \quad (6.3)$$

где  $I_a$  – издержки на амортизацию, которые определяются по формуле:

$$I_a = \kappa_T \cdot a_T, \quad (6.4)$$

где  $a_T$  – коэффициент отчисления на амортизацию,  $a_T = 0,1$ ;

$I_{\Delta W}$  – издержки из-за потерь электроэнергии, тыс.руб, которые определяются по формуле:

$$I_{\Delta W} = v \cdot \Delta W_{T,\Gamma} \quad (6.5)$$

где  $v$  – средняя себестоимость электроэнергии с учетом НДС,  $v = 2,1037$  руб/кВт·ч;

$\Delta W_{T,\Gamma}$  – потери в трансформаторах и определяются по формуле:

$$\Delta W_{T,\Gamma} = n (\Delta P_x \cdot T_\Gamma + K_3^2 \cdot \Delta P_k \cdot \tau_{нб}), \quad (6.6)$$

где  $n$  – число трансформаторов;

$T_\Gamma$  – годовое число часов работы потребителей,  $T_\Gamma = 7000$  часов;

$\tau_{нб}$  – время максимальных потерь электроэнергии, определяется по формуле:

$$\tau_{нб} = (0,124 + T_{\max, A} / 10000) \cdot 8760, \quad (6.7)$$

где  $T_{\max, A}$  – время использования максимума нагрузки, равное 4500 часов.

Приведем расчет по первому варианту:

$$\kappa_T = 4200 \text{ тыс. руб.};$$

$$E_n \cdot \kappa_T = 0,16 \cdot 4200 = 672 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_a = 4200 \cdot 0,1 = 420 \text{ тыс. руб.};$$

$$\tau_{нб} = (0,124 + 4500 / 10000) \cdot 8760 = 2886 \text{ часов};$$

$$\Delta W_{T,\Gamma} = 2 (19 \cdot 7000 + 0,7^2 \cdot 85 \cdot 2886) = 506403,8 \text{ кВт·ч};$$

$$I_{\Delta W} = 2,1037 \cdot 506403,8 = 1065,3 \text{ тыс. руб.};$$

$$I = 420 + 1065,32 = 1485,3 \text{ тыс. руб.};$$

$$З = 672 + 1485,32 = 2157,3 \text{ тыс. руб.}$$

Аналогично проводим расчет по второму варианту. Результаты сводим в сравнительную таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты приведенных затрат по двум вариантам

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ , кВА	Кол-во, шт	$k_T$ , тыс. руб	$I_a$ , тыс. руб	$\Delta W_{T,Г}$ тыс кВт·ч	$I_{\Delta W}$ тыс. руб	$I$ тыс. руб	$E_n \cdot k_T$ тыс. руб	$З$ , тыс. руб
2хТДН-16000/110	16000	2	4200	420	506,4	1065,3	1485,3	672	2157,3
2хТРДН-25000/110	25000	2	6000	600	717,4	1509,2	2109,2	960	3069,2

Как следует из расчетов, наименьшие приведенные затраты имеют место в первом варианте. Таким образом, окончательно принимаем к установке два трансформатора с номинальной мощностью каждого 16000 кВА.

Выбор сечений токоведущих жил токопроводов производят по условию нагрева длительным расчетным током и условию соответствия выбранному аппарату максимально-токовой защиты. При выборе марок проводов ориентируются на применение проводов с алюминиевыми жилами. Расчет начинаем от низшей стороны ТП цеха.

Самым мощным электродвигателем является вентилятор:

$$I_H = \frac{48}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,92 \times 0,89} = 89,2 \text{ А.}$$

$$I_{\text{пуск}} = I_H \times 6,5 = 89,2 \times 6,5 = 579,8 \text{ А.}$$

$$K_H = 0,65.$$

Тогда пиковый ток равен:

$$I_{\text{пик}} = (416,9 - 0,65 \times 89,2) + 579,8 = 938,72 \text{ А.}$$

Принимаем уставку:

$$I_{y(\text{тр})} = 3I_{\text{ап}} \quad (6.8)$$
$$I_{y_{\text{эмр}}} = 3 \times 400 = 1200 \text{ А.}$$

При выборе сечения провода отходящей линии должно соблюдаться неравенство:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{т.р}} \quad (6.9)$$

В качестве провода отходящего от автомата ВА-51-37 к РП принимаем кабель ЗЦСГБ 185, длиной 4м и ЦСГБ 1х150 длиной 8 м.

В качестве сборных шин принимаем шинопровод ШРА 73 с  $I_{\text{ном}} - 630 \text{ А}$ ,  $U_{\text{ном}} - 380 \text{ В}$ , длиной 5,6 м.

Спуск от РП-1 осуществляем проводом ПРТО в трубе.

## 7 Расчет релейной защиты и автоматики

Расчетный ток трансформатора по стороне низшего напряжения при номинальной нагрузке определяем по формуле:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{400}{1,73 \cdot 0,38} = 608,4 \text{ А.}$$

По номинальному току для защиты отходящего распределительного устройства щитовой устанавливаем автоматический выключатель ВА-51-39 на  $I_{\text{ап}} = 630 \text{ А}$ .

Ток уставки теплового расцепителя этого автомата:

$$I_{\text{у.тр}} = 1,25 \cdot I_{\text{ап}} = 1,25 \cdot 630 = 787,5 \text{ А.}$$

Уставку электромагнитного расцепителя выбирают по пиковому току защищаемой линии. В общем случае пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = (I_{\text{м}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{НОМ}}) + I_{\text{пуск}}, \text{ А,}$$

где  $I_{\text{м}}$  - максимальный ток нагрузки трансформатора (берется по значению максимального тока нагрузки определенного по таблице нагрузок);  $K_{\text{и}}$  - принятый коэффициент использования электродвигателя запускаемого станка;  $I_{\text{НОМ}}$  - номинальный ток самого мощного электродвигателя;  $I_{\text{пуск}}$  - пусковой ток электродвигателя.

Каждую отходящую линию защищаем автоматом или плавкими предохранителями, сечение токоведущей жилы отходящей от автомата или предохранителей определяем с учетом полученных значений уставок тепловых расцепителей или плавких ставок предохранителей. Для удобства расчетов составляем таблицу технических характеристик задействованных токоприемников (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Таблица технических характеристик задействованных токоприемником

Наименование станка	Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$ кВт	$U_{\text{ном}}$ В	Каталожные значения			$I_{\text{пуск}}$	$I_{\text{ном}}$
				$\eta_{\text{ном}}$	$\cos\varphi$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$		
Вентилятор	4АН200Л4У3	48	380	92	0,89	6,5	579,8	89,2
Сварочные агрегаты	4А180М8У3	10	380	75	0,87	6	88,5	14,7
Токарные автоматы	4А180М8У3	12	380	87	0,82	6	153,6	25,6
Зубофрезерные станки	4А180М8У3	15	380	87	0,82	6	192	32
Круглошлифовальный станок	4А132S8У3	4	380	82	0,7	1,4	14,7	10,5
Заточные станки	ДАО	3	220	59...63 60	0,4...0,6 0,5	1,5	54,1	36,5
Сверлильные станки	ДАО	3,2	220	59...63 61	0,4...0,6 0,5	1,5	57,7	38,5
Токарные станки	4А160М8У3	9	380	87	0,75	6	126	21
Плоскошлифовальные станки	4А160М8У3	8,5	380	87	0,75	6	118,8	19,8
Строгальные станки	4А180М8У3	12,5	380	87	0,82	6	160,2	26,7
Фрезерные станки	4А160М8У3	9,5	380	87	0,75	6	133,2	22,2
Расточные станки	4А180М8У3	11,5	380	87	0,82	6	147	24,5
Краны мостовые	МТКФ411-6	$\frac{25}{19,4}$	380	82,5	0,79	2,2	99,4	45,2

Так как при выборе группового автомата для защиты РП нужно соблюдать принцип селективности, то выбор автоматов начнем от последнего электродвигателя запитанного от данного РП.

Расчет элементов ЭСН запитанных от РП-1.

Вентиляторы:  $P_{\text{н}} = 48$  кВт,  $I_{\text{ном}} = 89,2$  А,  $I_{\text{пуск}} = 579,8$  А.

Спуск от РП-1 к электродвигателю вентилятора осуществляем проводом ПРТО в трубе.

Защиту спуска выполняем автоматом, соблюдая условие  $I_{\text{ап}} \geq I_{\text{ном}}$ .

Принимаем автомат ВА 51-33  $I_{\text{ап}} = 100 \text{ А}$ ,

$$I_{\text{у.тр}} = 1,25 \cdot 100 = 125 \text{ А},$$

$$КУ_{\text{эмр}} = \frac{579,8}{100} = 5,79.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{\text{у.эмр}} = 7 \cdot 100 = 700 \text{ А}.$$

По  $I_{\text{у.тр}}$  принимаем провод ПРТО 4х50 длиной 5 метров в трубе  $\varnothing 70$  мм.

Выбираем автомат ввода в шкаф РП-1.

Принимаем автомат ВА51-33  $I_{\text{ап}} = 125 \text{ А}$ ,

$$I_{\text{у.тр}} = 1,25 \cdot 125 = 156,3 \text{ А},$$

$$КУ_{\text{эмр}} = \frac{(I_{\text{р.рп}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном}}) + I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ап}}} = \frac{(118,7 - 0,65 \cdot 89,2) + 579,8}{125} = \frac{640,5}{125} = 5,1.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{\text{у.эмр}} = 7 \cdot 125 = 875 \text{ А}.$$

По  $I_{\text{у.тр}}$  принимаем провод ПРТО 4х70 длиной 46 метров в трубе  $\varnothing 80$  мм.

Для соблюдения принципа селективности срабатывания защиты автоматное ответвление от РУ ШНН принимаем на ступень выше чем вводной автомат шкафа т.е. принимаем автомат ВА 51-33  $I_{\text{ап}} = 125 \text{ А}$ ,  $I_{\text{у.тр}} = 156,3 \text{ А}$ , кратность уставки ЭМР 10 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{\text{у.эмр}} = 10 \cdot 125 = 1250 \text{ А}.$$

Для РП-2.

Сварочные агрегаты:  $P_{\text{н}} = 10 \text{ кВт}$ ,  $I_{\text{ном}} = 14,7 \text{ А}$ ,  $I_{\text{пуск}} = 88,5 \text{ А}$ .

Спуск от РП-2 к сварочному агрегату осуществляем проводом ПРТО, защиту спуска осуществляем автоматом ВА из условия  $I_{ап} \geq I_{ном}$ .

$$I_{ном\ САГ} = \frac{P_n \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi_n \cdot n_n} = \frac{10 \cdot \sqrt{0,4}}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,75} = 19,7 \text{ А.}$$

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 20 \text{ А}$ ,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 20 = 27 \text{ А,}$$

$$КУ_{эмр} = \frac{88,5}{20} = 4,4.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 20 = 140 \text{ А.}$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x4 длиной 11 метров для САГ №3, 9 метров для САГ №4 и 6 метров для САГ №5 в трубе  $\varnothing 20 \text{ мм}$ .

Выбираем автомат ввода в шкаф РП-2, соблюдая принцип селективности. Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 25 \text{ А}$ ,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 25 = 33,8 \text{ А,}$$

$$КУ_{эмр} = \frac{(I_{р.рп} - K_{и} \cdot I_{ном}) + I_{пуск}}{I_{ап}} = \frac{(13,2 - 0,3 \cdot 14,7) + 88,5}{25} = \frac{97,3}{25} = 3,9.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 25 = 175 \text{ А.}$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x6 длиной 25 метров в трубе  $\varnothing 20 \text{ мм}$ .

Для соблюдения принципа селективности срабатывания защиты автоматное ответвление от РУ ШНН принимаем на ступень выше чем вводной автомат шкафа т.е. принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 25 \text{ А}$ ,  $I_{у.тр} = 33,8 \text{ А}$ , кратность уставки ЭМР 10 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 10 \cdot 25 = 250 \text{ А.}$$

Расчет элементов ЭСН запитанных от ШРА-1.

Спуск от ШРА-1 до станка 6,7,8 (токарный автомат  $P_n = 12$  кВт,  $I_{ном} = 25,6$  А,  $I_{пуск} = 153,6$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 31,5$  А,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 31,5 = 42,5 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{153,6}{31,5} = 4,9.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 31,5 = 220,5 \text{ А}.$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x10 длиной 4 метра, ко всем трем станкам, в трубе  $\varnothing 25$  мм.

Спуск от ШРА-1 до станка 9,10,11 (зубофрезерный станок  $P_n = 15$  кВт,  $I_{ном} = 32$  А,  $I_{пуск} = 192$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 40$  А,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{192}{40} = 4,8.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 40 = 280 \text{ А}.$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x16 длиной 8 метров, ко всем трем станкам, в трубе  $\varnothing 40$  мм.

Спуск от ШРА-1 до станка 12,13,14 (круглошлифовальный станок  $P_n = 4$  кВт,  $I_{ном} = 10,5$  А,  $I_{пуск} = 14,7$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 12,5$  А,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 12,5 = 16,9 \text{ А},$$

$$КУ_{\text{эмр}} = \frac{14,7}{12,5} = 1,2.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{\text{у.эмр}} = 7 \cdot 12,5 = 87,5 \text{ А.}$$

По  $I_{\text{у.тр}}$  принимаем провод ПРТО 4х2,5 длиной 12 метров, ко всем трем станкам, в трубе  $\varnothing 20$  мм.

По току  $I_{\text{м}} = 71,7 \text{ А}$  взятого из таблицы электрических нагрузок выбираем вводной автомат ВА 51-31  $I_{\text{ап}} = 80 \text{ А}$ ,

$$I_{\text{у.тр}} = 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А,}$$

$$КУ_{\text{эмр}} = \frac{(I_{\text{р.рп}} - K_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном}}) + I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ап}}} = \frac{(71,7 - 0,24 \cdot 32) + 192}{80} = \frac{256}{80} = 3,2.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{\text{у.эмр}} = 7 \cdot 80 = 560 \text{ А.}$$

По  $I_{\text{у.тр}}$  принимаем провод ПРТО 4х35 длиной 6 метров в трубе  $\varnothing 60$  мм.

Принимаем шинопровод ШРА-73  $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$ ,  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ .

Расчет элементов ЭСН запитанных от ШРА-2.

Спуск от ШРА-2 до станка 15,16,17 (заточные станки  $P_{\text{н}} = 3 \text{ кВт}$ ,  $I_{\text{ном}} = 36,5 \text{ А}$ ,  $I_{\text{пуск}} = 54,1 \text{ А}$ ) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем предохранителем.

$$I_{\text{п}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{2,0} = \frac{54,1}{2,0} = 27 \text{ А,}$$

где: 1,6-станки с тяжелым режимом запуска, 2,0-станки со средним режимом запуска, 2,5-станки с легким режимом запуска.

Принимаем предохранитель НПН69М  $I_{\text{ном.}} = 25 \text{ А}$ .

Принимаем провод ПРТО 3х2,5 в трубе  $\varnothing 20$  мм длиной 9 метров для станка № 15, 7 метров для станка № 16 и 4 метра для станка № 17.

Спуск от ШРА-2 до станка 18,19 (сверлильные станки  $P_n = 3,2$  кВт,  $I_{ном} = 38,5$  А,  $I_{пуск} = 57,1$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту выполняем предохранителем.

$$I_{п} = \frac{I_{пуск}}{2,5} = \frac{57,1}{2,5} = 23,1 \text{ А.}$$

Принимаем предохранитель НПН69М  $I_{ном.} = 25$  А.

Принимаем провод ПРТО 3х2,5в трубе  $\varnothing 20$  мм длиной 9 метров для станка № 18, и 9 метров для станка № 19.

Спуск от ШРА-2 до станка 20,21,22,23,24,25 (токарные станки  $P_n = 9$  кВт,  $I_{ном} = 21$  А,  $I_{пуск} = 126$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 25$  А,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 25 = 33,8 \text{ А,}$$

$$КУ_{эмр} = \frac{126}{25} = 5.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 25 = 175 \text{ А.}$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4х6 в трубе  $\varnothing 20$  мм длиной 7 метров для станков № 20,21,22 и 4 метра для станков № 23, 24, 25.

Спуск от ШРА-2 до станка 26,27 (плоскошлифовальные станки  $P_n = 8,5$  кВт,  $I_{ном} = 19,8$  А,  $I_{пуск} = 118,8$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 20$  А,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 20 = 27 \text{ А,}$$

$$КУ_{эмр} = \frac{118,8}{20} = 5,9.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 20 = 140 \text{ А.}$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x2,5 в трубе  $\varnothing 20$  мм длиной 4 метра для обоих станков.

Спуск от ШРА-2 до станка 38 (кран мостовой  $P_H = 25$  кВт,  $I_{ном} = 45,2$  А,  $I_{пуск} = 99,4$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе и шинопроводом троллейным ШТМ, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 50$  А,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{99,4}{50} = 2.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 50 = 350 \text{ А}.$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x16 в трубе  $\varnothing 40$  мм длиной 18 метров и троллейный шинопровод ШТМ  $I_H = 100$  А.

По току  $I_M = 92,5$  А взятого из таблицы электрических нагрузок выбираем вводной автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 100$  А,

$$I_{у.тр} = 1,25 \cdot 100 = 125 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{(I_{р.пп} - K_H \cdot I_{ном}) + I_{пуск}}{I_{ап}} = \frac{(92,5 - 0,239 \cdot 25) + 99,4}{50} = \frac{185,9}{50} = 3,7.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 100 = 700 \text{ А}.$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x50 длиной 30 метров в трубе  $\varnothing 70$  мм.

Принимаем шинопровод ШРА-73  $I_{ном} = 250$  А,  $U_{ном} = 380$  В.

Расчет элементов ЭСН запитанных от ШРА-3.

Спуск от ШРА-3 до станка 28,29,30 (строгальные станки  $P_H = 12,5$  кВт,  $I_{ном} = 26,7$  А,  $I_{пуск} = 160,2$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 31,5 \text{ А}$ ,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 31,5 = 42,5 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{160,2}{31,5} = 5,1.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 31,5 = 220,5 \text{ А}.$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x10 в трубе  $\varnothing 25$  мм длиной 7 метров для станка № 28, 9 метров для станка № 29 и 4 метра для станка № 30.

Спуск от ШРА-3 до станка 31,32,33,34 (Фрезерные станки  $P_n = 9,5$  кВт,  $I_{ном} = 22,2 \text{ А}$ ,  $I_{пуск} = 133,2 \text{ А}$ ) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 25 \text{ А}$ ,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 25 = 33,8 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{133,2}{25} = 5,3.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{у.эмр} = 7 \cdot 25 = 175 \text{ А}.$$

По  $I_{у.тр}$  принимаем провод ПРТО 4x6 в трубе  $\varnothing 20$  мм длиной 7 метров для станков № 31,32, и 4 метра для станков № 33, 34.

Спуск от ШРА-3 до станка 35, 36, 37 (расточные станки  $P_n = 11,5$  кВт,  $I_{ном} = 24,5 \text{ А}$ ,  $I_{пуск} = 147 \text{ А}$ ) выполняем проводом ПРТО в трубе, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 25 \text{ А}$ ,

$$I_{у.тр} = 1,35 \cdot 25 = 33,8 \text{ А},$$

$$КУ_{эмр} = \frac{147}{25} = 5,9.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{y.эмр} = 7 \cdot 25 = 175 \text{ А.}$$

По  $I_{y.тр}$  принимаем провод ПРТО 4х6 в трубе  $\varnothing 20$ мм длиной 4 метра для всех станков.

Спуск от ШРА-3 до станка 39 (кран мостовой  $P_H = 25$  кВт,  $I_{ном} = 45,2$  А,  $I_{пуск} = 99,4$  А) выполняем проводом ПРТО в трубе и шинопроводом троллейным ШТМ, защиту спуска осуществляем автоматом.

Принимаем автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 50$  А,

$$I_{y.тр} = 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А,}$$

$$KУ_{эмр} = \frac{99,4}{50} = 2.$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{y.эмр} = 7 \cdot 50 = 350 \text{ А.}$$

По  $I_{y.тр}$  принимаем провод ПРТО 4х16 в трубе  $\varnothing 40$  мм длиной 12 метров и троллейный шинопровод ШТМ  $I_H = 100$  А.

По току  $I_M = 99,9$  А взятого из таблицы электрических нагрузок выбираем вводной автомат ВА 51-31  $I_{ап} = 100$  А,

$$I_{y.тр} = 1,25 \cdot 99,9 = 124,9 \text{ А,}$$

$$KУ_{эмр} = \frac{(I_{p.рп} - K_{и} \cdot I_{ном}) + I_{пуск}}{I_{ап}} = \frac{(99,9 - 0,201 \cdot 26,7) + 160,2}{50} = \frac{254,7}{50} = 5,1$$

Принимаем ближайшее значение кратности уставки ЭМР 7 токов аппарата.

$$\text{Тогда } I_{y.эмр} = 7 \cdot 100 = 700 \text{ А.}$$

По  $I_{y.тр}$  принимаем провод ПРТО 4х50 длиной 16 метров в трубе  $\varnothing 70$  мм

Принимаем шинопровод ШРА-73  $I_{ном} = 250$  А,  $U_{ном} = 380$  В.

## 8 Расчет заземления зданий и сооружений объекта

Заземлением называют преднамеренное гальваническое соединение металлических частей электроустановки с заземляющим устройством.

Различают следующие виды заземлений:

Защитное - выполняют с целью обеспечения электробезопасности при замыкании токоведущих частей на землю;

Рабочее - предназначено для обеспечения нормальных режимов работы установки;

Молне-защитное - для защиты зданий и сооружений.

Заземляющее устройство - это совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Заземлителем называют металлический проводник, или группу проводников находящихся в соприкосновении с землей различают естественные и искусственные заземлители.

Естественные заземлители - это различные конструкции и устройства, которые по своим свойствам могут одновременно выполнять функции заземлителем: водопроводные и другие металлические трубопроводы (кроме трубопроводов горючих и взрывчатых жидкостей и газов, а также трубопроводов покрытых изоляцией от коррозии), металлические и железобетонные конструкции, сооружения, имеющие надежное соединение с землей.

Величины допускаемых сопротивлений, допускаемых устройств приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Сопротивление заземляющих устройств

Наибольшее значение	Характеристика электроустройств
	Для ЭУ напряжением 1000В с расчетным током замыкания меньше 500А
$R_3 \leq \frac{250}{I_3}$	Для ЭУ свыше 1000В с расчетным током замыкания выше 500А
$R_3 = \frac{250}{I_3} \leq 10$	Для ЭУ при условии, что заземляющее устройство заземляется общим для высокого и низкого напряжения током замыкания ниже 500А
$R_3 < 4\Pi$	В устройствах 380/220В
$R_3 <$	В устройствах 660/3 80В

Заземляющие проводники служат для присоединения частей электроустановки с заземлителем. Помимо обычных проводов соответствующего сечения, заземляющими проводниками могут служить металлические конструкции здания сооружений: колонна, фермы, каркасы РУ.

В качестве общего заземлителя применяем заземляющий контур выполненный из заглубленных труб на глубину 0,5м от поверхности земли, соединили трубы катойкой  $\varnothing 10\text{мм}$ .

По периметру здания с внутренней стороны прикрепим катойку того же диаметра и корпуса заземляемого электрооборудования подсоединяем стальным тросом.

Сопротивление первого заземлителя вертикального определяем по упрощенной формуле:

$$R_B = 0,302 \cdot \rho_{\text{расч}} \cdot K_c = 0,302 \cdot 20 \cdot 1,8 = 10,87 \text{ ом.}$$

Количество электродов для обеспечения необходимой величины нормируемого сопротивления 4 ом определяем по формуле:

$$\frac{R_B}{\eta_{ЭК}} = \frac{10,87}{4} = 2,72.$$

При коэффициенте экранирования  $\eta_{ЭК} = 0,679$  количество электродов  $= \frac{2,72}{0,679} = 4$  электрода.

Определяем сопротивление горизонтального заземлителя по формуле:

$$R_r = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч}}{e} \cdot \log \frac{e^2}{dt}, \quad (8.1)$$

где:  $e$ -длина горизонтального заземлителя, определяется по формуле:

$$e_{гз} = m_{эл} \cdot e \cdot 1,05 = 4 \cdot 2,5 \cdot 1,05 = 10,5 \text{ м.}$$

$$R_r = \frac{0,366 \cdot 20 \cdot 1,35}{e10,5} \cdot \log \frac{10,5^2}{0,11 \cdot 0,5} = 4,08 \text{ ом.}$$

Общее сопротивление:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_{ЭК}}{R_r} + \frac{m \cdot \eta_{ЭК}}{R_B}} = \frac{1}{\frac{0,679}{4,08} + \frac{4 \cdot 0,679}{10,87}} = 2,41 \text{ ом.}$$

Что намного меньше 4 Ом.

## 9 Молниезащита зданий и сооружений объекта

Произведем расчет молниезащиты.

Размеры здания составляют 48x30x8 м.

Принимаем тип защиты – двухстержневой металлический молниеотвод одинаковой высоты. Стержни высотой по 35 метров каждый. Степень надежности защиты данного здания составляют 99,5%.

Высота вершин конусов молниеотводов  $h_0$  определяются следующим выражением:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 35 = 29,8 \text{ м.}$$

Вычисляется радиус защиты на уровне земли  $r_0$ :

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot h = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 35) \cdot 35 = 36,1 \text{ м.}$$

Находится радиус защиты на высоте защищаемого сооружения  $h = 9$  м:

$$R_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot (h - 1,2 \cdot h_x) = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 35) \cdot (35 - 1,2 \cdot 8) = 24,9 \text{ м.}$$

Высота  $h_c$  и ширина  $r_{cx}$  средней части определяется выражением:

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot h) \cdot (L - h) = (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 35) \cdot (48 - 35) = 27,5 \text{ м,}$$

где  $L = 48$  м – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами.

$$R_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x) \cdot \frac{1}{h_c} = 36,1(27,5 - 9) \cdot \frac{1}{27,5} = 24,3 \text{ м.}$$

Определяется возможная поражаемость защищаемого объекта:

$$N = [(B + 6 \cdot h_x) \cdot (A + 6 \cdot h_x) - 7,7 \cdot h_x^2] \cdot n \cdot 10^{-6} = [(28 + 6 \cdot 8) \cdot (48 + 6 \cdot 8) - 7,7 \cdot 8^2] \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 3,9,$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина здания.

$N = 3,9$  - округляем до 4 – среднегодовое число ударов молний в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности в месте нахождения здания.

Зона защиты двухстержневого молниеотвода представлена на рисунке 9.1.

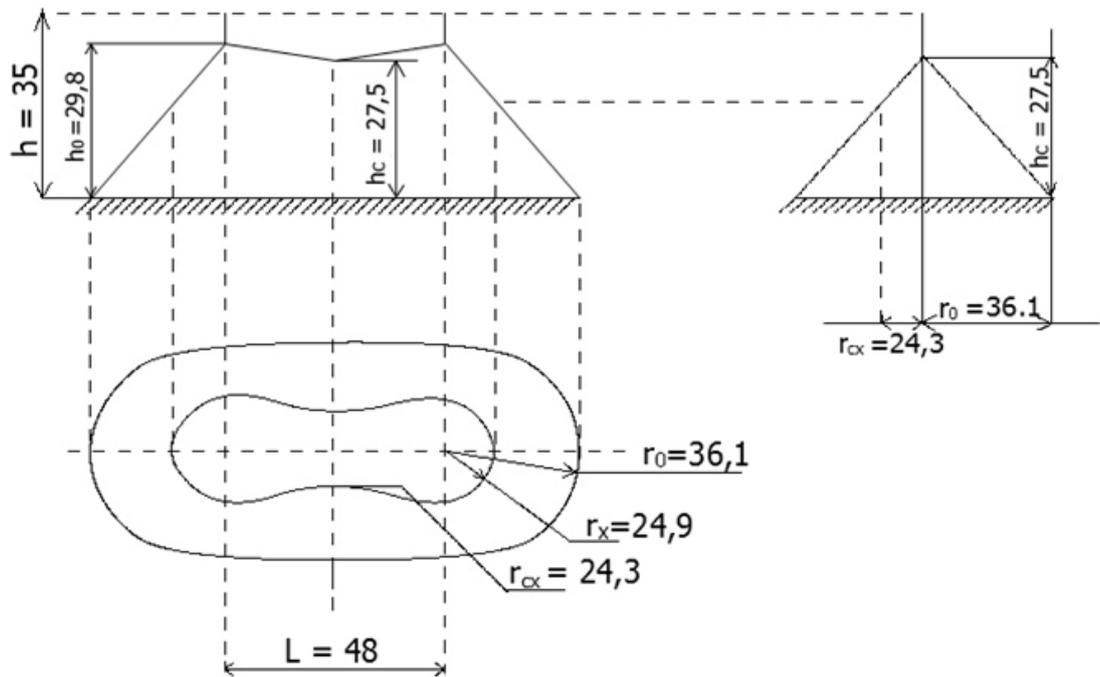


Рисунок 9.1 – Зона защиты двухстержневого молниеотвода

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электроснабжение является одной из наиболее важных областей жизнеобеспечения. От развития этой отрасли зависит развитие современного производства и условий жизни населения, поэтому электроснабжение должно занимать приоритетную позицию.

В настоящее время огромное внимание уделяется вопросам энергосбережения во всех отраслях народного хозяйства.

В условиях увеличения потребностей в качественной электроэнергии задача разработки и внедрения систем обнаружения и борьбы с хищениями электроэнергии на предприятиях является очень актуальной.

В процессе проектирования должны предусматриваться кратчайшие сроки выполнения работ, необходимая гибкость системы. Поэтому, проектная задача является более сложной, чем расчетная.

Рационально выполненные современные системы электроснабжения должны удовлетворять ряду требований:

- экономичность;
- надежность;
- безопасность и удобство эксплуатации;
- обеспечение требуемого качества электроэнергии;
- уровень напряжения и стабильная частота.

По завершению выполнения выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

- исследована общая характеристика предприятия и системы электроснабжения цеха;
- исследован состав и характеристика потребителей электроэнергии цеха;
- рассчитаны электрические нагрузки системы электроснабжения объекта и произведен расчет и выбор электрооборудования и силовой схемы объекта электроснабжения;

- произведен выбор мощности компенсирующих устройств механического цеха;
- произведен выбор числа и мощности цеховых трансформаторов;
- произведен расчет токов короткого замыкания;
- разработана система освещения цеха;
- разработаны рекомендации по организации защиты от перенапряжения.

Таким образом, рассмотренные технические решения имеют практическую значимость и могут быть использованы для проектирования систем электроснабжения аналогичных производственных объектов.

По завершению выполнения работы необходимо отметить, что все поставленные задачи решены, цель работы достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Липкин Б.Ю. “Электроснабжение промышленных предприятий и установок”: Учеб. для учащихся электротехн. специальностей средних спец. учебн. заведений. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2016. – 366 с.
2. Иванов В. С., Соколов В. И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2017. – 336с.
3. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Высш. школа, 2014.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Кнорринга Г. М. – Л.: Энергия, 2014.
5. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивной мощности в электросетях предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 136с.
6. Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. Электрическая часть электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 2015.
7. Минин Г.П. Реактивная мощность. – М.: Энергия, 2017. – 88с.
8. Синягин Н.Н., Афанасьев Н.А. Новиков С.А. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергии. – М.: Энергия, 2012.
9. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования. – М.: Машино-строение, 2014.
10. Зимин Е.Н., Кацевич В.Л., Козырев С.К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. – М.: Энергоиздат, 2016. – 192с.
11. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 2014.

12. В.Ф. Красноперов, Т.И. Овчаренко Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания по выполнению курсового проекта. Харьков. УИПА 2012.
13. Ю.Л.Мукосеев. Электроснабжение промышленных предприятий. “Энергия”. М., 2003.
14. А.А.Федоров, Л.Е.Старкова. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. М. Энергоатомиздат., 2007.
15. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Под ред. А.А. Федорова. Том 1. М. Энергоатомиздат., 2006.
16. Б.Н.Неклепаев., И.П.Крючков. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М. Энергоатомиздат., 2009.
17. Л.Д.Рожкова. Электрооборудование станций и подстанций. М. Энергоатомиздат., 2007.
18. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергия. – 2003..
19. Глушков В.М. и Грибин В.П. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий. М.: Энергия, 2005, 104с.
20. Сибикин Ю.Ф. «Эксплуатация и ремонт электрооборудования и сетей машиностроительных предприятий». Справочник. М.: Машиностроение, 2011, 288с.
21. Зюзин А.Ф., Поконов Н.З. «Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок». М.: Высшая школа., 2010. 367с.
22. Правила устройства электроустановок / Изд. 6-е.-М.: Энергоиздат, 2002.
23. Организация, планирование и управление в энергетике. Учебник / Алексеев Ю.П., Кузьмин В.Г., Мелехин В.Г., Саваминская В.И.: Под редакцией В.Г. Кузьмина.-М.: Высшая школа., 2012.

24. Active Power Filter with Common DC Link for Compensation of Harmonic Distortion in Power Grids / V.N. Meshcheryakov, M.M. Khabibullin, V.V. Pikalov, S.Valtchev // 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC 2014). Antalya. –2014.

25. Active power filter with relay current regulator and common DC link for compensation of harmonic distortion in power grids; V.N. Meshcheryakov, M.M. Khabibullin, S.Valtchev I.S. Pavlov; IFIP Advances in Information and Communication Technology 423. Technological Innovation for Collective Awareness Systems. 5th IFIP WG 5.5;SOCOLNET Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems DoCEIS 2014. Lisbon. –2014.c. 427-434.

26. Berg H. P. Reliability of main transformers / H. P. Berg, N. Frize - Germany: Bundesamt fur Strahlenschutz, 2012.

27. Bialek, J.W. Tracing the Flow of Electricity. IEE Proc-Gener., Transm., and Distrib., vol. 143, pp. 310-320, Jul. 2006.

28. HAP – Best Practice Catalog – Main Power Transformer / mesa associates, inc. and oak ridge national laboratory 2012.